

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ANTONIJA HORVAT

PROCJENA RANJIVOSTI PODZEMNIH VODA NA
ŠIREM PODRUČJU GRADA ZADRA

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

PROCJENA RANJIVOSTI PODZEMNIH VODA NA
ŠIREM PODRUČJU GRADA ZADRA

KANDIDAT:
ANTONIJA HORVAT

MENTOR:
doc.dr.sc. JELENA LOBOREC

VARAŽDIN, 2017.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

Procjena ranjivosti podzemnih voda na širem području grada Zadra

(naslov diplomskog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **doc.dr.sc. Jelene Loborec**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 07.09.2017.

ANTONIJA HORVAT

(Ime i prezime)

96355377035

(OIB)

Antonijs Horvat

(Vlastoručni potpis)

~ZAHVALA~

Željela bih zahvaliti svima koji su mi pomogli u izradi diplomskog rada.

Najprije zahvaljujem svojoj mentorici doc.dr.sc. Jeleni Loborec koja je predložila temu, izdvojila svoje vrijeme, ustupila potrebne podatke te svojim znanstvenim i stručnim savjetima pomogla u svim fazama izrade ovog diplomskog rada.

Želim se zahvaliti svim djelatnicima Geotehničkog fakulteta s kojima sam imala priliku surađivati, koji su mi svojim radom i znanjem pomogli u stjecanju mog znanja tijekom akademskog obrazovanja.

Najviše zahvaljujem svojim roditeljima i sestri za neizmjereno strpljenje, razumijevanje, odricanje te bezgraničnu potporu i riječima podrške kad god mi je to bilo potrebno. Bez njih sve ovo ne bi bilo moguće.

Zahvaljujem i svim svojim dragim prijateljima i prijateljicama koji su bili uz mene sve ovo vrijeme.

Hvala Vam svima!

Antonija Horvat

Sažetak

U svijetu je sve veća potražnja za pitkom vodom. Najveće zalihe pitke vode su upravo one podzemne. U Hrvatskoj kakvoća podzemne vode je vrlo visoka na panonskom i na krškom dijelu, samo što je ranjivosti krških vodonosnih sustava veća zbog karakterističnih obilježja koja čine krš podložnim negativnim antropogenim utjecajima. Koncept ranjivosti podzemne vode zasniva se na pretpostavci da fizički uvjeti u okolišu pružaju svojevrsnu prirodnu zaštitu podzemnim vodama od antropogenih utjecaja. Ranjivost je kvalitativno, relativno, nemjerljivo i bezdimenzionalno svojstvo nekog prirodnog sustava. Područje istraživanja u ovom radu je šire područje grada Zadra čija je ranjivost procijenjena pomoću COP metode. COP metodom se ranjivost vodonosnika procjenjuje uzimajući u obzir tri parametra: krovinske naslage (O), koncentracija toka (C) i režim oborina (P). Konačni indeks COP dobiva se množenjem ta tri faktora. U ovom radu proučene su geografske, geološke, hidrogeološke i klimatološke značajke vodonosnika, a za određivanje parametara C, O i P potrebne su bile topografska, geografska, hidrogeološka, hidropedološka i karta oborina. Izrađene su karte za svaki pojedini parametar prema uputama za dobivanje svakog pojedinog parametra. Kao rezultat ovog rada dobivena je karta ranjivosti vodonosnika na širem području grada Zadra pomoću COP metode.

Ključne riječi: podzemna voda, prirodna ranjivost, COP metoda, Zadar

Sadržaj:

1.	Uvod	1
2.	Teorijski prikaz COP metode	5
2.1.	Krovinske naslage	5
2.2.	Koncentracija toka	7
2.3.	Oborine.....	10
3.	Prikaz područja istraživanja	13
3.1.	Geografski položaj	13
3.2.	Geološke značajke.....	14
3.3.	Hidrogeološke značajke	15
3.4.	Klimatološke značajke	18
3.5.	Problematika onečišćenja podzemnih voda	18
4.	Procjena ranjivosti COP metodom na širem području grada Zadra	20
4.1.	Priprema podloga za kartiranje prirodne ranjivosti.....	20
4.1.1.	Topografska karta	20
4.1.2.	Hidrogeološka karta.....	22
4.1.3.	Karta vegetacijskog pokrova	23
4.1.4.	Hidropedološka karta.....	24
4.1.5.	Karta oborina	24
4.2.	Ocjena ranjivosti COP metodom	25
4.2.1.	Procjena parametra O – utjecaj krovinskih naslaga.....	25
4.2.2.	Procjena parametra C – koncentracija toka	29
4.2.3.	Procjena parametra P – oborine	33
4.2.4.	Analiza ranjivosti pomoću COP metode	34
5.	Zaključak	36
6.	Literatura	38
7.	Popis slika.....	41
8.	Popis tablica.....	42

1. Uvod

Voda, esencijalna tekućina za sav život na Zemlji, pokriva 71 % našeg planeta, a formira sve oceane, mora, rijeke i jezera te je zaslužna za Zemljin naziv „Plavi planet“ (Črnjar & Črnjar, 2004). Iako se zbog toga čini da je ima u izobilju, to nije slučaj jer čak 96,5 % vode čine svjetska mora i oceane (tj. slana voda), a tek neznatnih 2,5 % otpada na slatku vodu, od koje je većinski dio (98,8 %) zarobljen u ledu ili podzemnim vodama. Ipak, i taj vrlo mali udio i postojana količina slatke vode dovoljna je da održi život svih bića na Zemlji. Problem nastupa zbog njene neravnomjerne prostorne i vremenske raspodjele.

Posljednjih nekoliko desetljeća uz problem raspodjele i potrošnje, sve je izraženiji problem onečišćenja vode. Najveći onečišćivači vode su ljudske aktivnosti, u prvom redu industrija i suvremena poljoprivreda, uslijed čega dolazi do stvaranja onečišćivala, umjetnih i štetnih supstanci, koje pronalaze način i prodiru u tlo te naposljetku onečišćuju podzemne zalihe pitke vode. Pravilno upravljanje pitkom vodom presudno je za kvalitetu života na Zemlji, jer alternativno sredstvo vodi ne postoji, a jednom kad se kakvoća vode naruši vrlo je teško, skupo i dugotrajno vratiti ju u prvobitno stanje.

Voda se može zaštititi na različite načine, u prvom redu svakako racionalnim korištenjem vode te propisivanjem aktivnih i pasivnih mjera zaštite. Aktivne mjere zaštite voda podrazumijevaju redovito motrenje kakvoće vode na području napajanja vodonosnika te provođenje aktivnosti za poboljšanje trenutnog stanja vode koji podrazumijevaju gradnju objekata za kondicioniranje vode, pročišćavanje otpadnih voda, uvođenjem čiste tehnologije proizvodnje u industriji, ekološke poljoprivrede, itd. Pasivne mjere zaštite provode se podređivanjem i pridržavanjem određenih zabrana ljudskih aktivnosti unutar propisanih zona zaštite pitke vode. Zone sanitarne zaštite izvorišta pitke vode osnovno su sredstvo zaštite vode namijenjene ljudskoj potrošnji u Republici Hrvatskoj, stoga je njihovo određivanje zakonska obveza.

Pojam koji se u posljednje vrijeme vrlo često pojavljuje u smislu zaštite vodnih resursa je ranjivost podzemnih voda. Procjena ranjivosti vodonosnika nastoji

proučavanjem svih dijelova vodonosne sredine (površinske naslage, nesaturirana zona i saturirani dio) izdvojiti one dijelove koji su zbog svojih prirodnih karakteristika ranjiviji na antropogene utjecaje. Metode procjene ranjivosti postale su uobičajeni alat za zaštitu podzemnih voda, posebno u krškim područjima. Neke europske države procjenu ranjivosti uvrstile su u svoju zakonsku regulativu kao jednu od obaveznih metoda istraživanja kod definiranja zona sanitarne zaštite izvorišta pitke vode. Hrvatska još nije među njima, ali i kod nas se ovakve metode provode sve češće (Kapelj et al, 2012; Loborec, 2013; Biondić et al, 2014).

Koncept ranjivosti podzemnih voda temelji se na pretpostavci da neka svojstva okoliša u kojemu je vodonosnik pružaju svojevrstu prirodnu zaštitu podzemnim vodama od antropogenih utjecaja. Ranjivost je tako definirana kao kvalitativno, relativno, nemjerljivo i bezdimenzionalno svojstvo nekog prirodnog sustava, što znači da nema apsolutne veličine ni mjerne jedinice ranjivosti. Osnovna podjela ranjivosti prema Vrba & Zaporozec (1994):

- prirodna ranjivost – koja je isključivo vezana za hidrogeološke značajke vodonosnika i ne ovisi o vrsti onečišćivala, ni o načinu kretanja onečišćenja;
- specifična ranjivost – uzima u obzir sve značajke onečišćivala (ili grupe onečišćivala) i njihovo međudjelovanje s hidrogeološkim sustavom.

Kroz godine primjene tog koncepta došlo je do razvoja različitih metoda za procjenu ranjivosti. Tako su Gogu & Dassargues (2000) objavili općeniti pregled postojećih metoda, svrstavajući ih u dvije osnovne klase i još nekoliko podklasa:

- Metode hidrogeološkog kompleksa – procjenjuju ranjivost na kvalitativan način, na temelju određenih hidrogeoloških, morfoloških i hidrografskih značajki.
- Parametarske metode – temelje se na vrednovanju određenih parametara, a dijele se na:
 - Metode matričnog sustava – kombinacija malog broja odabranih parametara, dobije se upotrebom matričnog sustava, npr. Irska metoda, (DoELG/EPA/DSI, 1999)
 - Metode jednostavnog vrednovanja – svaki parametar ima konstantni raspon vrijednosti (klase), a konačna procjena ranjivosti dobiva se zbrajanjem ili množenjem parametara, npr. GOD metoda, (Foster, 1987)

- Metode bodovanja s dodjeljivanjem težinskih vrijednosti – uvode težinske faktore koji množe parametre i na taj način naglašavaju utjecaj nekog parametra u odnosu na druge, npr. SINTACS (Civita & DeMaio, 2000).

Često su te metode bile slične, promatrale su iste parametre i imale slične sustave bodovanja. Ipak često se dogodilo da bi primjenjivanjem nekoliko različitih metoda na istom području krajnji rezultat bile vrlo različite karte ranjivosti. Da bi se to izbjeglo (ili barem umanjilo) pokrenut je COST projekt pod nazivom "Kartiranje ranjivosti i rizika u svrhu zaštite karbonatnih (krških) vodonosnika" (Zwahlen, 2004). Osnovni cilj ovog projekta bio je predložiti objektivnu metodologiju i okvirne smjernice za ujednačeni pristup u procjeni ranjivosti i rizika. Tako je nastao tzv. Europski pristup (eng. *"European Approach"*) za određivanje prirodne i specifične ranjivosti, te rizika u krškim vodonosnim sustavima. Europski pristup nije metoda, nema detaljne upute, formule za izračun ili tabele za isčitavanje vrijednosti. To je skup smjernica koje definiraju i detaljno objašnjavaju parametre koji su se do tada često koristili u različitim metodama procjene ranjivosti, ali su bili interpretirani na različite načine. Na taj se način postigla željena ujednačenost, a opet zadržala fleksibilnost i mogućnost prilagodbe lokalnim uvjetima, pojedinim regijama različitih okolišnih značajki, različitog stupnja ekonomskog razvoja i znanstvenog stupnja istraženosti krša (Daly et al., 2002).

Područje istraživanja obuhvaćeno ovim radom je grad Zadar i njegova šira okolica. Zadar se nalazi u središnjem dijelu obalnog područja Hrvatske, no za razliku od ostatka obalnog područja kojeg karakteriziraju visoke planine, Zadar je smješten na pretežno ravničarskom području krša, bez znatnog zadržavanja vode na površini terena. Područje Zadarske županije najvećim je dijelom siromašno vodom, naročito u priobalnom dijelu, što je problem jer su tamo koncentrirana najveća naselja, a time i najveći potrošači vode (ZADRA, 2011). Pogotovo je to vidljivo u ljetnom periodu kada se zbog turizma broj potrošača višestruko poveća, a hidrološki je period malih voda. Vodoopskrba tog područja se ostvaruje dijelom iz Regionalnog vodovodnog sustava s rijeke Zrmanje, a dijelom iz lokalnih izvora. Drugi problem je zbrinjavanje otpadnih voda. Udio stanovništva Zadarske županije koji je spojen na sustav javne odvodnje znatno je niži u odnosu na udio stanovništva koji je spojen na vodoopskrbni ustav (ZZJZZŽ, 2006). Uslijed svega navedenoga, javlja se potreba za pravilnim upravljanjem vodnih resursa ovoga područja, kako bi se osigurale dostatne količine kvalitetne pitke vode za

stanovništvo ovoga područja. To se posebno odnosi na pravilnu zaštitu podzemnih voda jer je prirodna voda zadovoljavajuće kvalitete veliko bogatstvo. Procjena ranjivosti podzemnih voda može u tome uvelike pomoći.

2. Teorijski prikaz COP metode

COP metoda procjene prirodne ranjivosti, opasnosti i rizika podzemne vode razvijena je 2001. - 2002. godine na Sveučilištu u Malagi (Španjolska). COP metoda potpuno je usklađena (metodološki i terminološki) sa smjernicama predloženima projektom COST 620. Ranjivost vodonosnika procjenjuje se uzimajući u obzir tri parametra: krovinske naslage (O), koncentracija toka (C) i režim oborina (P). Parametar O predstavlja zaštitnu ulogu, a faktori C i P smanjuju taj stupanj zaštite. Konačni indeks COP dobiva se množenjem ta tri faktora. (Vias et al., 2002, 2006)

2.1. Krovinske naslage

O – faktor krovinskih naslaga (eng. Overlying layers) – ukazuje na mogućnost da naslage nesaturirane zone vodonosnika razrijede i smanje, odnosno ublaže potencijalni učinak onečišćenja. O faktor se procjenjuje kombinacijom ocjena značajki tla (O_s) i litološke građe nesaturirane zone (O_L) postupkom koji se odvija u šest koraka (*Slika 2.1*).

Podfaktor tla O_s opisuje značajke biološki aktivnog dijela naslaga nezasićene zone vodonosnika u kojima se mogu očekivati procesi zadržavanja onečišćenja i smanjenja ranjivosti za podzemne vode. Jedna od glavnih karakteristika podfaktora O_s je proces samočišćenja. Osnovne značajke koje se pri tome uzimaju u obzir su sastav tla, tekstura i debljina (koraci I i II, *Slika 2.1*). Tekstura uglavnom ovisi o veličini zrna, dok je debljina tla vrlo promjenjiv parametar. Kako bi se olakšala metoda i jednostavnost prepoznavanja na terenu razlikuju se tri klase: 0 – 0.5 m, 0.5 - 1 m, i više od 1 m. Područjima u kojima nema prisutnog tla dodjeljuje se vrijednost $O_s = 0$.

Litološki podfaktor O_L definira svojstva zadržavanja onečišćenja za svaki sloj stijena unutar nesaturirane zone. Osnovni kriteriji za određivanje faktora O_L su: vrsta stijene i stupanj razlomljenosti (L_y - korak III, *Slika 2.1*), debljina svakog pojedinog sloja (m - korak IV, *Slika 2.1*) i stupanj zatvorenosti vodonosnika (cn - korak V, *Slika 2.1*). Sumiranjem umnoška tih parametara definira se indeks sloja po dubini nesaturirane zone za svaku točku sliva (*formula 2.1*).

$$\text{Indeks sloja} = \Sigma (L_y \cdot m) \quad (2.1)$$

Indeks sloja se zatim razvrstava u jednu od pet klasa i očitava se vrijednost indeksa sloja u rasponu od 1-5 (korak IV, *Slika 2.1*) koja se zatim množi s parametrom stupnja otvorenosti vodonosnika (cn - korak V, *Slika 2.1*), a rezultat je podfaktor O_L (*formula 2.2*). Parametar "cn" ima funkciju dodatno naglasiti stupanj zaštite za zatvorene vodonosnike, a na otvorene vodonosnike nema nikakav utjecaj.

$$O_L = \text{vrijednost indeksa sloja} \cdot \text{cn} \quad (2.2)$$

Vrijednost podfaktora O_L rangira od minimalne vrijednosti 1, jednakoj sloju tla koje najmanje zadržava onečišćenje, do maksimalne 10 koja označuje sloj tla sa najvećim faktorom zadržavanja onečišćenja.

$$\text{O faktor} = [O_s] + [O_L] \quad (2.3)$$

Konačna vrijednost faktora O dobiva se zbrajanjem podfaktora O_s i O_L (*formula 2.3*). Stupanj zaštite definiran je O faktorom, koji se opisuje s jednom od pet kategorija (korak VI, *Slika 2.1*), u rasponu od 1 (vrlo niski stupanj zaštite) do 15 (vrlo visoki stupanj zaštite). Općenito se smatra da najniže vrijednosti parametra O (najveća ranjivost) odgovaraju područjima građenim od razlomljenih karbonatnih stijena bez pokrovnih naslaga tla, a najviše vrijednosti parametra O (najmanja ranjivost) odgovaraju područjima s debelim naslagama tla ili slabo propusnim stijenama.

O faktor (faktor pokrovnih naslaga)

O_s - UTJECAJ TLA

I

GLINENO TLO	>30% GLINE
PRAŠKASTO TLO	>70% PRAHA
PJESKOVITO TLO	PIJESAK >70%
	GLINA ≤15%
ILOVAČA	OSTALO

II

DEBLJINA

→

TEKSTURA				
GLINENO	PRAŠKASTO	ILOVAČA	PJESKOVITO	
>1.0 m	5	4	3	2
0,5-1 m	4	3	2	1
<0,5 m	3	2	1	0

→ Os

OL - UTJECAJ LITOLOGIJE

III		IV	
LITOLOGIJA I RAZLOMLJENOST	Ly	INDEKS SLOJA	VRIJEDNOST
Gline	1500	0 - 250	1
Prahovi	1200	250 - 1 000	2
Lapori, kompaktni metapeliti i magmatske stijene	1000	1 000 - 2 500	3
Laporoviti vapnenci	500	2 500 - 10 000	4
Raspucani metapeliti i magmatske stijene	400	> 10 000	5
Kompaktni ili čvrsto vezani konglomerati i breče	100		
Pješčenjaci	60		
Raspucani ili slabo vezani	40		
Pjesci i šljunci	10		
Propusni bazalti	5		
Raspucane karbonatne stijene	3		
Okršene stijene	1		

V	
STUPANJ ZATVORENOSTI VODONOSNIKA	cn
Zatvoreni	2
Poluzatvoreni	1,5
Otvoreni	1

OL = VRIJEDNOST INDEKSA SLOJA · cn

FAKTOR O = Os + OL

VI	
FAKTOR O	STUPANJ ZAŠTITE
1	vrlo niska
2	niska
2 - 4	srednja
4 - 8	visoka
8 - 15	vrlo visoka

Slika 2.1. Prikaz određivanja O faktora (prema: Vias et al, 2006)

2.2. Koncentracija toka

C – faktor koncentracije toka (eng. flow Concentration) – uzima u obzir površinske uvjete koji kontroliraju površinsko otjecanje jer dijelovi sliva na kojima dolazi do površinskog otjecanja imaju manji kapacitet razrijeđenja onečišćenja. Faktor C predstavlja stupanj koncentracije površinskog otjecanja do ponora, jama ili sličnih krških obilježja, koje omogućuju izravnu infiltraciju oborina, pri tome zaobilazeći naslage nesaturirane zone i njihovu zaštitnu funkciju. Uzet je kao ispravljački

koeficijent O faktora. C faktor procjenjuje se na dva različita načina za dva scenarija prihranjivanja vodonosnika:

- scenarij 1 – zona koncentriranog prihranjivanja vodonosnika kroz ponore (*Slika 2.2*)
- scenarij 2 – ostatak područja s difuznim prihranjivanjem (*Slika 2.3*)

Scenarij 1 odnosi se na zone sliva u kojima se vodonosnik prihranjuje kroz ponore, odnosno, u kojima se koncentrira površinski tok i prodire u podzemlje kroz ponore, jame i slična krška obilježja, zaobilazeći pri tome naslage nesaturirane zone.

$$C = [dh] \cdot [ds] \cdot [sv] \quad (2.4)$$

U tim područjima faktor C se izračunava kao umnožak triju podfaktora (*formula 2.4*):

- udaljenost od ponora (dh) – zona maksimalnog utjecaja procjenjuje se na 5 000 metara, u rasponu od 0 (manje od 500 m udaljenosti do ponora) do 1 (više od 5000 m udaljenosti do ponora);
- udaljenost od površinskog toka koji ponire (ds) – zona utjecaja je definirana do 100 metara, određen sa 0, 0.5 ili 1 ovisno o udaljenosti od ponornice;
- podfaktor kombinacije nagiba terena i vegetacije (sv) – gdje (s) označuje nagib u rasponu od manje od 8% do više od 76%, a (v) vegetaciju određenu sa nema, malo ili mnogo, i tako podfaktor (sv) može biti od 0.75 do 1; vrijednosti rastu s povećanjem nagiba terena, najveće vrijednosti se dodjeljuju strmijim područjima bez vegetacije jer je na tim područjima veća mogućnost formiranja površinskog otjecanja i smanjuje se vrijeme dotoka do vodnog lica.

C faktor (faktor koncentracije toka)

SCENARIJ 1

ZONA PRIHRANJIVANJA KROZ PONORE

Udaljenost do ponora (dh)		Udaljenost do ponornice (ds)		Nagib i vegetacija (sv)		
VII		VIII		IX		
Udaljenost do ponora (m)	dh	Udaljenost do ponornice (m)	ds	NAGIB	VEGETACIJA	sv
≤ 500	0	< 10	0	≤ 8 %	nema	1
500 - 1 000	0,1	10 - 100	0,5	8 - 31 %	mnogo	0,95
1 000 - 1 500	0,2	> 100	1		malo	0,9
1 500 - 2 000	0,3			31 - 76 %	mnogo	0,85
2 000 - 2 500	0,4				malo	0,8
2 500 - 3 000	0,5			> 76 %	nema	0,75
3 000 - 3 500	0,6					
3 500 - 4 000	0,7					
4 000 - 4 500	0,8					
4 500 - 5 000	0,9					
> 5 000	1					

$$C = dh \cdot ds \cdot sv$$

Slika 2.2. Prikaz određivanja C faktora za scenarij 1 (prema: Vias et al., 2006)

Scenarij 2 opisuje procjenu faktora C u ostatku sliva, odnosno u područjima gdje se vodonosnik prihranjuje difuzno.

$$C = [sf] \cdot [sv] \quad (2.5)$$

U ovom slučaju faktor C predstavlja umnožak podfaktora (sf) i (sv) (formula 2.5):

- Podfaktor (sf) opisuje ulogu površinskih značajki u prihranjivanju vodonosnika, a procjenjuje se kombinacijom uloga površinskih naslaga (njihove propusnosti) i prisutnosti krških obilježja, u rasponu od 0.25 do 1;
- Podfaktor (sv) također je kombinacija utjecaja nagiba terena i vegetacije, ali u ovom slučaju ima obrnute vrijednosti nego u scenariju 1, jer je za difuzno prihranjivanje vodonosnika najznačajniji dio s malim nagibima terena i prisustvom vegetacije, dok strmi nagibi i odsustvo vegetacije nemaju utjecaj na difuznu infiltraciju, u rasponu od 0.75 do 1.

SCENARIJ 2

OSTATAK PODRUČJA

Površinske značajke (sf)					Nagib i vegetacija (sv)		
		Površinske naslage			XI		
		Nema	Propusne	Nepropusne	NAGIB	VEGETACIJA	sv
X					≤ 8 %	nema	0,75
Obilježja krša	Razvijen krš	0,25	0,5	0,75	8 - 31 %	mного	0,8
	Slabo razvijeni ili disolucijski krš	0,5	0,75	1		malo	0,85
	Pukotinski krš	0,75	0,75	1	31 - 76 %	mного	0,9
	Nema krša	1	1	1		malo	0,95
					> 76 %	nema	1
					C = (sf) · (sv)		

Slika 2.3. Prikaz određivanja C faktora za scenarij 2 (prema: Vias et al., 2006)

Konačna karta C faktora dobije se smještanjem procijenjene vrijednosti u jednu od 5 klasa smanjenja stupnja zaštite koju vodonosnik ima zahvaljujući o faktoru (Slika 2.4).

XII	
FAKTOR C	STUPANJ SMANJENJA ZAŠTITE
0 - 0,2	vrlo visoki
0,2 - 0,4	visoki
0,4 - 0,6	srednji
0,6 - 0,8	niski
0,8 - 1	vrlo niski

→ C karta

Slika 2.4. Prikaz klasifikacije C faktora (prema: Vias et al., 2006)

2.3. Oborine

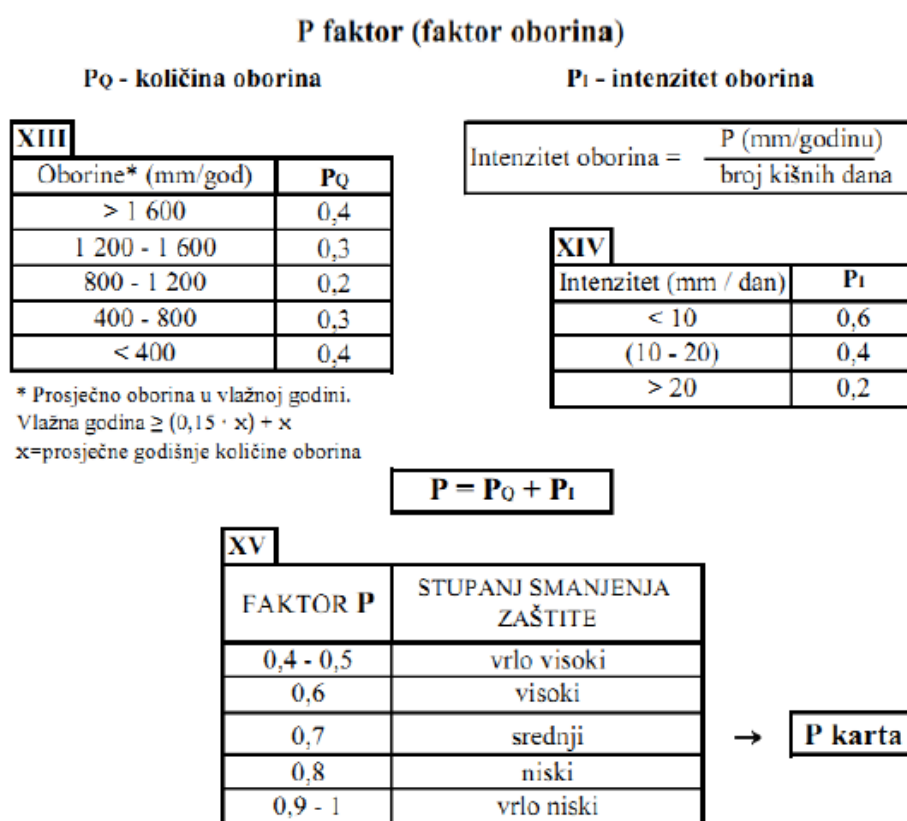
P – faktor oborina (eng. Precipitation) – uzima u obzir sposobnost vode (u ovom slučaju oborina) da prenese onečišćenje s površine kroz nesaturiranu zonu do vodnog lica. Što je ta sposobnost veća, veća je i ranjivost vodonosnika od onečišćenja. Prema *Daly et al. (2002)* dva obilježja oborina određuju količinu infiltracije, a to su količina oborina i intenzitet oborina. Upravo ta dva podfaktora služe za procjenu P faktora u COP metodi:

- Podfaktor P_Q opisuje količinu oborina. Njegova vrijednost određuje se preko prosječne količine oborina u vlažnoj godini (vlažna godina je ona za koju vrijedi

da je u njoj palo 15% više oborina nego što prosječno padne na određenom prostoru) koja se svrstava u jednu od pet predloženih klasa. Vrijednost P_Q faktora smanjuju utjecaj oborina na ranjivost vodonosnika za veće količine oborina zato jer dolazi do znatnog razrjeđenja onečišćenja, a time i smanjenja ranjivosti.

- Podfaktor P_I odnosi se na intenzitet oborina, to jest na vremensku raspodjelu oborina kroz godinu koja se dobije tako da se prosječna godišnja količina oborina podijeli s brojem kišnih dana u godini. Ta se vrijednost zatim uvrštava u jednu od tri klasa raspona i očitava vrijednost podfaktora P_I , u vrijednosti od 0.2 do 0.6.

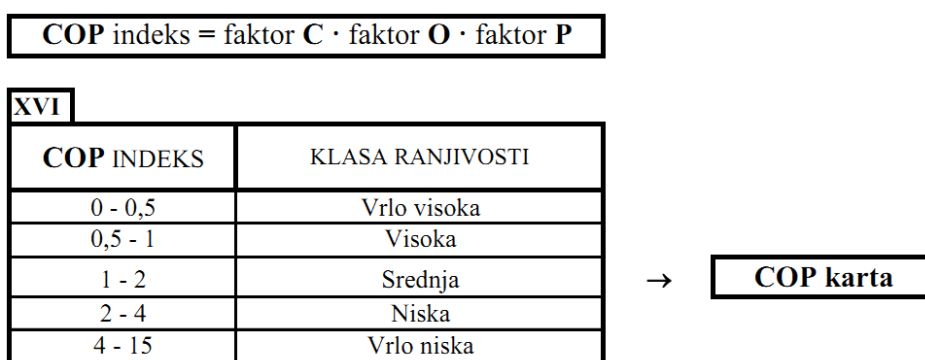
Vrijednost ukupnog faktora P dobije se zbrajanjem podfaktora P_Q i P_I . Konačni faktor P svrstava se u pet klasa – pet stupnjeva smanjenja zaštite vodonosnika (Slika 2.5).



Slika 2.5. Prikaz određivanja P faktora (prema: Vias et al., 2006)

Faktori O i C ukazuju svojstva koja utječu na transport onečišćivača, dok se faktor P odnosi na dostupnost agensa (vode) koji transportira onečišćenje (tj. više vode podrazumijeva veću ranjivost vodonosnika).

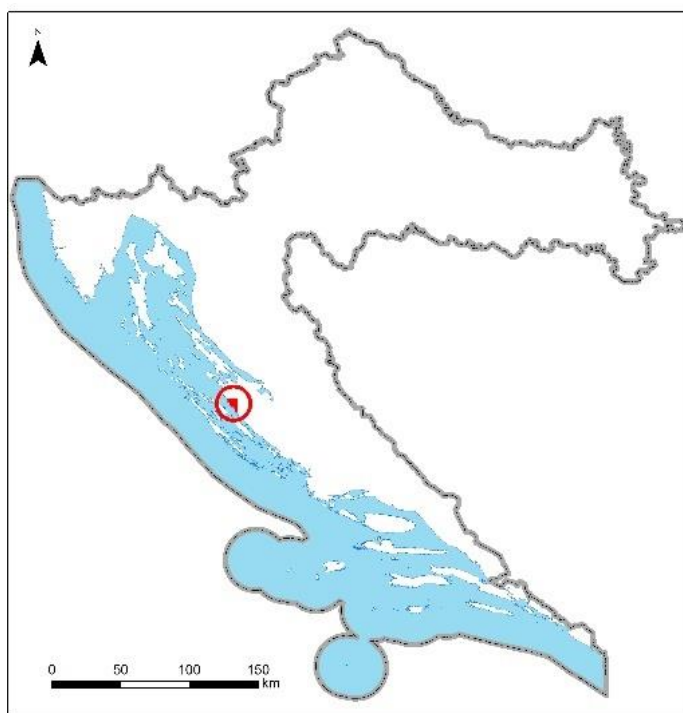
Konačni **COP indeks** dobiva se množenjem faktora **C**, **O** i **P**; gdje faktor O predstavlja zaštitnu zonu (vrijednost od 0 do 15), a faktori C i P modificiraju taj stupanj zaštite. Vrijednost faktora C kreće se između 0 i 1, a faktora P od 0.4 do 1. Ranjivost se zatim prikazuje na karti koja razlikuje pet različitih klasa ranjivosti, ovisno o rasponima ukupnog COP indeksa, od vrlo niske do vrlo visoke ranjivosti (*Slika 2.6*).



Slika 2.6. Prikaz određivanja COP indeksa i klasa ranjivosti (prema: Vias et al., 2006)

3. Prikaz područja istraživanja

Zadar se nalazi u sjevernoj Dalmaciji, u središtu hrvatskog dijela istočne obale Jadranskog mora (*Slika 3.1.*). Grad Zadar zauzima ukupnu površinu od 194 km² i središte je Zadarske županije. Iako zauzima tek nešto više od 5 % površine čitave županije, ima ulogu većeg regionalnog središta s najvećom koncentracijom radnih mjesta kojem gravitira više od 200.000 stanovnika (ZADRA, 2013).



Slika 3.1. Položaj područja istraživanja na karti Republike Hrvatske

3.1. Geografski položaj

Područje Grada Zadra pripada dvjema širim fizionomskim cjelinama prostorne organizacije Zadarske županije: zadarskoj urbanoj regiji i zadarskom arhipelagu. Zadarski arhipelag obuhvaća otoke i oni nisu promatrani u okvirima ovoga rada. Urbana regija grada Zadra dijeli se na priobalni pojas i zaobalje. Priobalni pojas grada Zadra obuhvaća 28,57 km dobro razvijene obalne linije sa puno malih uvala i zaljeva. Geografski, zaobalni dio grada Zadra pripada jugozapadnom dijelu područja Ravni

Kotari. Reljef je u tom dijelu blago valovit. Područje je prekriveno tipičnom mediteranskom vegetacijom.

Posebnost geografskog položaja grada Zadra očituje se u križanju maritimnog utjecaja, planinskog utjecaja s Velebita i plodne zone Ravnih Kotara, zatim izrazitom gravitacijskom karakteru područja kao i dobroj prometnoj povezanosti (najkraća pomorska ruta do Italije) (Slika 3.2).



Slika 3.2. Geoprometni položaj grada Zadra (ZADRA, 2013)

3.2. Geološke značajke

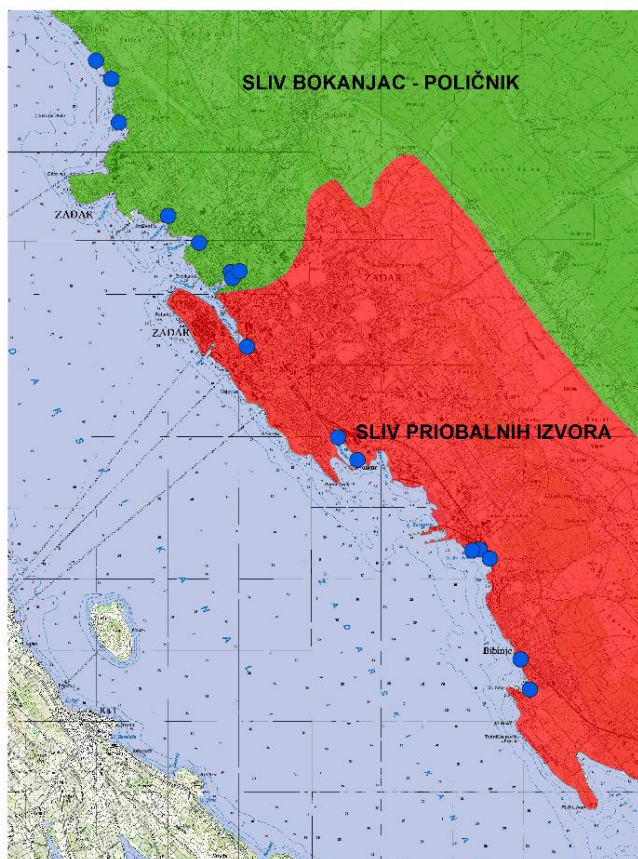
Područje Grada Zadra pripada geološki mladom dinarskom sustavu gorja i predgorskih prostora, koji se pruža u pravcu sjeverozapad-jugoistok. Opće geotektonske prilike ukazuju na pripadnost područja Grada Zadra širem kompleksu Dinarida, tj. geotektonskim jedinicama Ravnih kotara i zadarskih otoka. Geološku građu kopnenog područja najvećim dijelom čine foraminiferski vapnenci, pješčenjaci, lapori, konglomerati i debelo uslojeni vapnenci. Obalni pojas kopna i otoka karakterizira velika razvedenost, prevladavaju niske kamenite obale s brojnim pjeskovitim i šljunkovitim uvalama (ZADRA, 2013). U paleocenu i eocenu dominiraju vapnenci, dok su za eocen karakteristične i naslage fliša. Na području istraživanja se nalaze i razne vrste kvartarnih naslaga (aluvij i deluvij s različitim udjelom glina, muljeva, pijeska i fragmenata stijena) (Majcen, Ž. & B. Korolija, 1970, 1973).

Strukture su općenito vrlo jednostavne antiklinale i sinklinale u smjeru protezanja od sjeverozapada prema jugoistoku, tj. u dinarskom smjeru pružanja. Važno je istaknuti da su nepropusne flišne naslage smještene u središnjem dijelu sinklinala, a propusni vapnenci formiraju dio terena antiklinala. Na cijelom području najznačajnija je zona reverznog rasjeda dužine od oko 100 m, jasno vidljiva duž obale kao niz paralelnih rasjeda i diskontinuiteta. To područje ima funkciju kompresije koja sprečava okršavanje. Sustavi rasjeda i pukotina koji su okomiti ili dijagonalni prema reverznom rasjedu nisu vidljivi na površini zbog urbanizacije, poljoprivrede, vegetacije, itd. (Kapelj, J, 2002).

3.3. Hidrogeološke značajke

Zbog hidrogeoloških svojstva stijene imaju različitu funkciju. Razbijene stijene su dobro propusne (vapnenac) i one imaju svojstva klasičnih krških vodonosnika (Fritz, F. 1976). Dok dolomiti i mramorni vapnenci imaju slabiju propusnost, flišne naslage su nepropusne te obično imaju funkciju barijere na krškim terenima Dinarida. Kvartarne naslage izgrađene od glinovitih materijala s ulomcima stijene imaju intergranularnu poroznost i varijabilnu propusnost, koja ovisi o veličini i raspodjeli veličine zrna. Uglavnom, područje Zadra se sastoji od dobro propusnih vapnenca, nepropusnih flišnih naslaga te aluvijalnih i deluvijalnih sedimenata promjenjive propusnosti.

Smjerovi otjecanja općenito su uzrokovani litološkim sastavom stijena. Na području istraživanja razlikuju se dva veća slivna područja: Bokanjac-Pličnik smješten u sjeverozapadnom dijelu područja i sliv priobalnih izvora (Kapelj et al, 2003). Dakle, može se reći da grad Zadar pretežito drenira u dva smjera – prema zoni Petrčane-Diklo u slivu Bokanjac–Poličnik i zoni Zadar-Biograd u slivu priobalnih izvora (*Slika 3.3*). Sjeverni dio Zadarskog područja spada u drugu zonu sanitarne zaštite izvorišta Boljkovac i Jezerce s visokim stupnjem zaštite (Fritz, F. et al., 1994; Pavičić, A. et Al, 2000).



Slika 3.3. Prikaz glavnih slivova

3.3.1. Zona obalnog otjecanja (Petrčane) – Diklo – Zadar (sliv Bokanjac-Poličnik)

Prije melioracije Bokačnjačkog Blata bilo je više obalnih izvora i vrulja u odnosno na sadašnje stanje kada su prisutne (Kapelj et al, 2003):

- vrulja Diklo,
- vrulja Vukovica,
- vrulja – u zaljevu Zgon,
- obalna izvorska zona -u zaljevu Drenažnica,
- obalni izvor -u zaljevu Maestral,
- izvor Vruljica - Marina Zadar.

Kapaciteti tih izvora, prije melioracije Bokačnjačko Blato, bili su veći u svim godišnjim dobima. U usporedbi s kapacitetom ostalih izvora na cijeloj zoni grada Zadra, izvor Vruljica pokazuje konstantan protok s minimalnim kapacitetom 80 l/s tijekom ekstremno suhih razdoblja.

Može se zaključiti da podzemna voda u tom području obično teče po strukturama, a na onim mjestima gdje više nema barijere voda može teći okomito prema jugozapadu do obalnih izvora. Izvor Vruljica dobiva vodu iz glavnog krškog vodonosnika Bokanjac-Poličnik. Zbog toga industrijski objekti i njihove otpadne vode mogu onečistiti vodonosnik, a onečišćenje može doći i do obalnih izvora (Kapelj et al, 2003).

3.3.2. Zona obalnog otjecanja Zadar – Bibinje (Biograd)

Slatka voda koja izlazi na priobalnim izvorima u ovoj zoni uglavnom drenira u karbonatnim naslagama smještenim sjeveroistočno od izvora. Dio infiltrirane vode dolazi iz fliških naslaga. Kapacitet ovih izvora je manji od područja između Dikla i Zadra zbog ograničenog drenažnog područja uzrokovana funkcijom flišnih naslaga.

Na obalnom području između Zadra i Bibinja nalaze se sljedeći izvori (Kapelj et al, 2003):

- obalni izvor Jazine - luka Zadar,
- obalni izvor, industrijsko otjecanje, Arbanasi,
- izvor sv. Jelena, zaljev sv. Jelena,
- obalni izvor sv. Jelena, uz spremnike,
- obalni izvor difuzne zone, Crosco Company,
- obalni izvori u Bibinju, dva otjecanja.

Kapacitet većine obalnih izvora je vrlo mali, niži od 0.1 l/s. Veći kapacitet imaju samo izvor Vruljica i sv. Jelena. U ovoj zoni nalaze se brojne privatne bušotine koje su napuštene, uništene ili ispunjene kamenim materijalom.

Temperatura izvora i podzemne vode varira od 12 do 16 °C. Visoke temperature izmjerene su na izvorima s drenažnim područjem niže nadmorske visine te bliže moru, dok su niže temperature izmjerene u podzemnim vodama iz bunara smještenih dalje od mora. Elektrovodljivost svih obalnih izvora raste tijekom sušnih razdoblja kada je dotok svježije vode smanjen, a prodor morske vode veći u tranzicijskoj zoni. Najveće razlike bile su izmjerene u obalnom pojasu u blizini tvrtke Crosco i sv. Jelena. Najniže vrijednosti zabilježene su u uzorcima podzemne vode iz iskopanih bušotina u unutrašnjosti terena (Kapelj et al, 2003).

3.4. Klimatološke značajke

Cjelokupno područje Grada Zadra pripada sredozemnoj klimi sa suhim i vrućim ljetima. Srednja temperatura najhladnijeg mjeseca nije niža od -3°C , a najmanje jedan mjesec u godini ima srednju temperaturu višu od 10°C . Bitno klimatsko obilježje je postojanje pravilnog ritma izmjene godišnjih doba. U lokalnim okvirima značajnu ulogu igra široko ravničarsko zaleđe Grada, koje ublažava utjecaje nedalekog Velebita. Prosječne godišnje padaline na ovom području iznose između 730 i 1 200 mm. Najveće količine kiše bilježe se u ožujku, listopadu i studenom, u čemu je u prosjeku 200 do 210 dana bez kiše. Prosječni sadržaj vlage u zraku je između 65 i 70 %. Srednje mjesečne temperature su tijekom cijele godine iznad 0°C , a tijekom ljetnih mjeseci su iznad 24°C . Godišnja insolacija u Zadru iznosi 2 500 sati što je iznad prosjeka Hrvatske (Kapelj et al, 2003).

Posljednjih desetljeća klimatske promjene uzrokuju produljenje suhih razdoblja što utječe na kakvoću podzemnih voda zbog povećanog sadržaja klorida na najvažnijim vodoopskrbnim objektima. Površinsko otjecanje je vrlo slabo s tek nekoliko višegodišnjih tokova (Kapelj et al, 2003).

3.5. Problematika onečišćenja podzemnih voda

Udio stanovništva Zadarske županije koji je spojen na sustav javne odvodnje znatno je niži u odnosu na udio stanovništva koji je spojen na vodoopskrbni ustav. Samo manji dio otpadnih voda prolazi kroz sekundarnu (biološku) obradu, dok se većina obrađuje samo mehanički. Kanalizacija postoji u malom broju naselja i to uglavnom u općinskim središtima i starim urbanim aglomeracijama te turističkim satelitskim naseljima priobalja (Pucar et al, 2006).

Turistička područja imaju specifičnosti u odnosu na druge dijelove Zadarske županije budući da ljeti neka mjesta imaju 20 puta više gostiju nego stalnih žitelja, što još više opterećuje podzemne vode. Stara kanalizacija i neadekvatni podmorski ispusti

postoje uglavnom u priobalnom području i starim urbanim jezgrama, dok je odvodnja u ruralnim područjima i novijim naseljima riješena najčešće crnim jamama, te rjeđe, septičkim jamama. Septičke jame spadaju među prve objekte za pročišćavanje kanalizacijskih voda. Kroz njih kanalizacijska otpadna voda protječe vrlo malom brzinom. Nažalost, danas su češće „crne jame“, koje imaju propusne stjenke, i sadržaj im se direktno cijedi u vodopropusno podzemlje. Jame se povremeno crpe i to često nekontrolirano, bilo na tlo, bilo u neki vodotok ili more. Sustav komunalne odvodnje postoji uglavnom u priobalnom području gdje se prikupljene otpadne vode kroz mješovitu kanalizacijsku mrežu (prikupljene komunalne, industrijske i oborinske vode) ispuštaju bilo izravno, bilo preko jednostavnih taložnica, kroz kraći ili dulji podmorski ispust u more (Pucar et al, 2006).

4. Procjena ranjivosti COP metodom na širem području grada Zadra

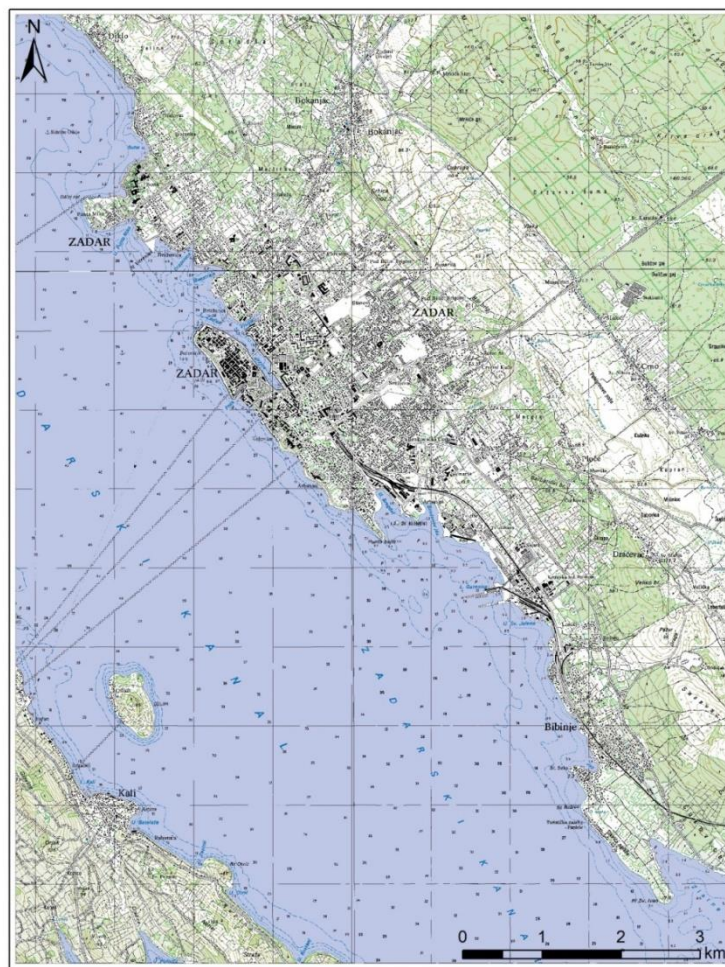
4.1. Priprema podloga za kartiranje prirodne ranjivosti

Za procjenjivanje ranjivosti nekog područja potrebno je na odgovarajući način pripremiti podatke koji će poslužiti kod određivanja parametara COP metodom. Korištene su sljedeće podloge:

- topografska podloga
- hidrogeološka karta
- karta vegetacijskog pokrova
- hidropedološka karta
- karta oborina

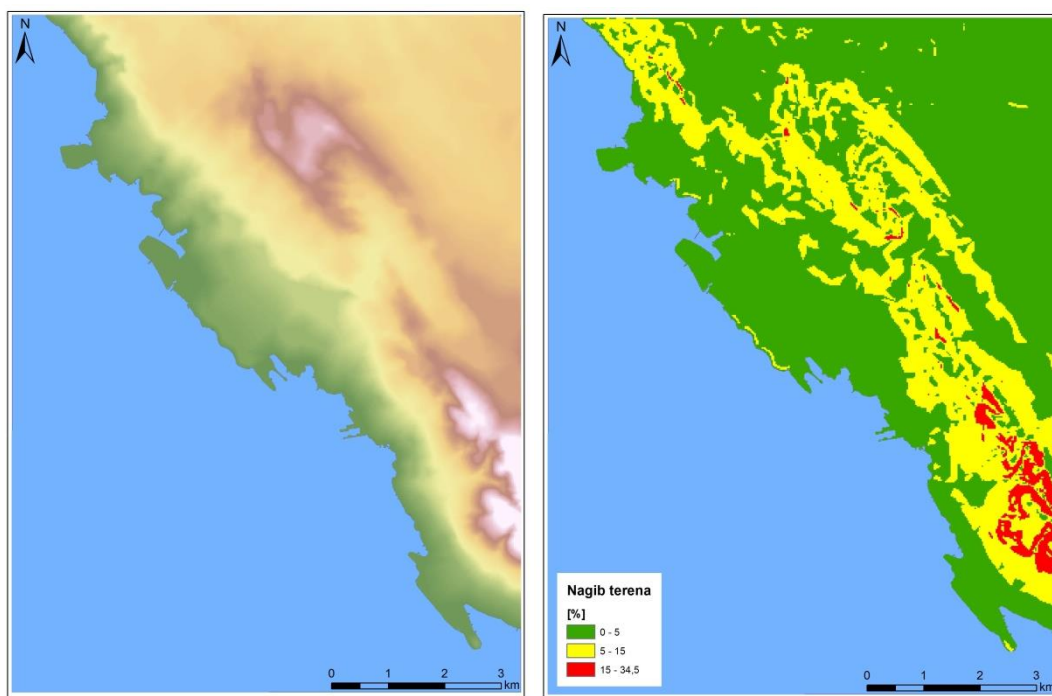
4.1.1. Topografska karta

Topografska karta (*Slika 4.1*) je geografska karta s velikim brojem informacija o mjesnim prilikama prikazanog područja (naselja, prometnice, vode, vegetacija, oblik reljefa Zemlje i granice teritorijalnih područja). Topografske karte su kartografski prikazi proizašli iz točne i cjelovite izmjere topografskih objekata. Topografska karta korištena je kao podloga za digitalizaciju kota, zatim rijeka, bunara, bušotina, izvora, vrulja i estavela. U ovom radu korišten je list topografske karte 469-4-3, Zadar (zapad).



Slika 4.1. Topografska karta istraživanog područja

Iz digitaliziranih kota izrađen je digitalni model reljefa (*DEM – Digital Elevation Model*) u „grid“ formatu, raster veličine ćelija 25x25 metara. DEM je polazni format preko kojeg je prostornim modeliranjem GIS alatima izrađena karta nagiba terena (*Slika 4.2*), a poslužio je i kod definiranja dubina do podzemne vode. Vrijednosti na digitalnom modelu reljefa se kreću od 0 do 137 m. Karta nagiba terena prikazuje nagib u % i to u vrijednostima od 0 do 5, od 5 do 15 i od 15 pa do najvišeg nagiba na istraživanom području od 34,5 %.

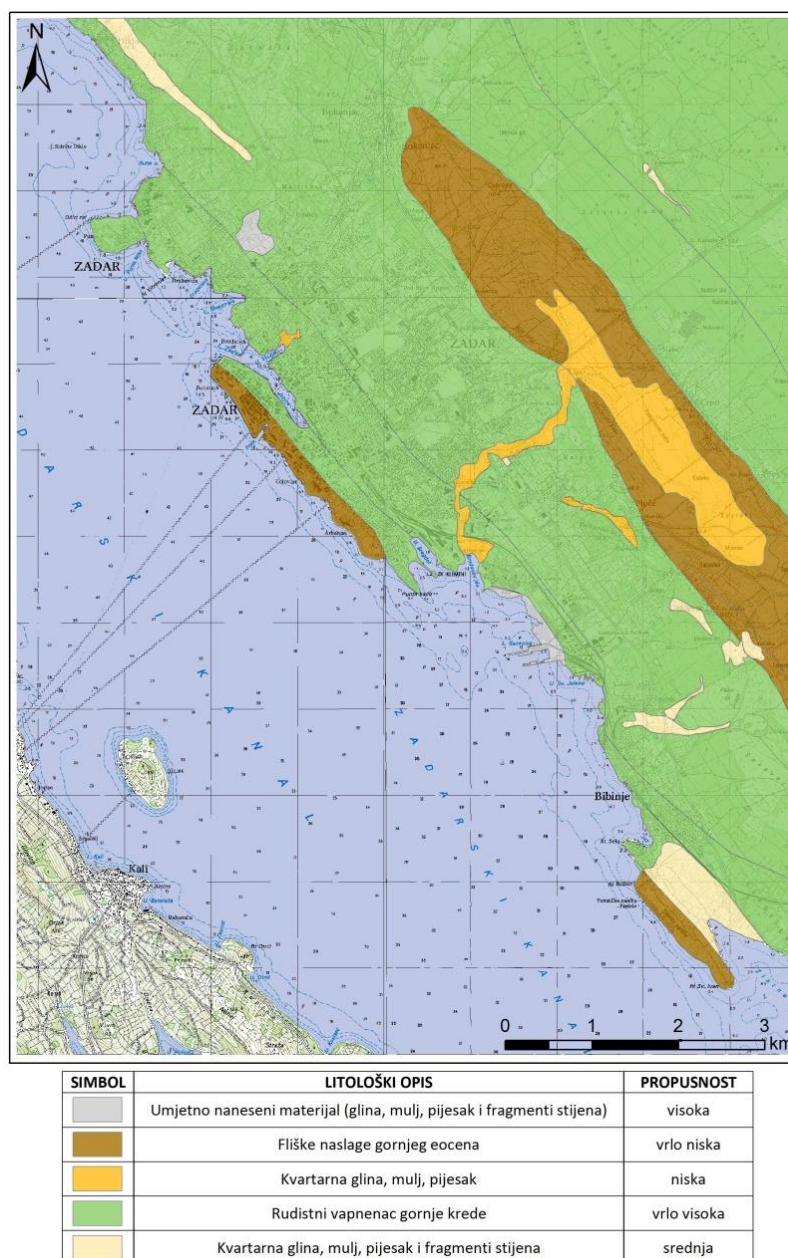


Slika 4.2. Prikaz DEM rastera i karte nagiba terena

4.1.2. Hidrogeološka karta

Hidrogeološka karta je karta koja prikazuje osnovne hidrogeološke značajke prikazanog područja. Osim prikaza osnovnih hidrogeoloških značajki stijenskih masa i naslaga, ona prikazuje slivove, vodne objekte (izvore, vrulje, estavele, zdence), speleološke objekte, kao i po potrebi specijalne karte u prilogu (karte zaštitnih zona, razne hidrogeokemijske karte, karte raspodjele vrtača...). Hidrogeološka karta osnovna je podloga kod procjene ranjivosti krškog vodonosnika jer definira konceptualni model dinamike vode u kršu. U ovom radu korištena je za određivanje O_L podfaktora (utjecaj litologije) koji zajedno sa podfaktorom O_s (utjecaj tla) daje faktor O (krovinske naslage). *Slika 4.3* prikazuje litologiju gdje su:

- 1 - umjetno nanesei materijal (glina, mulj, pijesak, fragmenti stijena)
- 9 - fliške naslage gornjeg eocena
- 12 - kvartarna glina, mulja, pijesak
- 13 - rudistni vapnenac gornje krede
- 25 - kvartarna glina, mulj pijesak, fragmenti stijena



Slika 4.3. Karta litoloških jedinica (modificirano prema: Kapelj et al, 2003.)

4.1.3. Karta vegetacijskog pokrova

Za pripremu tematskih slojeva s podacima o vegetaciji na području istraživanja korišteni su podaci "on-line" baze podataka s mrežne stranice Agencije za zaštitu okoliša "Corine LandCover 2000" (AZO, 2008). Karta pokrova korištena je zajedno sa hidrogeološkom kartom za dobivanje podfaktora sf (površinske značajke) i sv (negib i vegetacija) čiji umnožak tvori faktor C (koncentracija toka).

4.1.4. Hidropedološka karta

Hidropedološka karta je tematska pedološka karta područja na kojoj su prikazane hidropedološke jedinice, a pri tome daje informacije o pedološkim oblicima tala i kategorijama vode u tlu, zatim o razinama podzemne vode, bilanci oborinske vode u tlu i koeficijentu otjecanja oborinske vode. Osnovne karakteristike na temelju kojih su razvrstane jedinice tala na istraživanom području su tekstura tla te prostorna raspodjela dubina tla. Hidropedološka karta Republike Hrvatske (Vidaček et al., 2004) korištena je za procijenu podfaktora O_s (utjecaj tla).

4.1.5. Karta oborina

Karta oborina je karta prostorne raspodjele klimatskih elemenata u pravilnoj mreži podataka. Iz Klimatskog atlasa Republike Hrvatske (Zaninović et al., 2008) korištena je karta oborina koja je digitalizirana na području istraživanja. Digitalizacijom su izdvojene osnovne klase srednjih godišnjih oborina koja je poslužila za daljnje obrađivanje pojedinih parametara. Promatrano područje dijeli se na dva područja (*Slika 4.4*):

1. u rasponu od 800 do 900 mm/god oborina,
2. u rasponu od 900 do 1000 mm/god oborina.



Slika 4.4. Karta oborina

4.2. Ocjena ranjivosti COP metodom

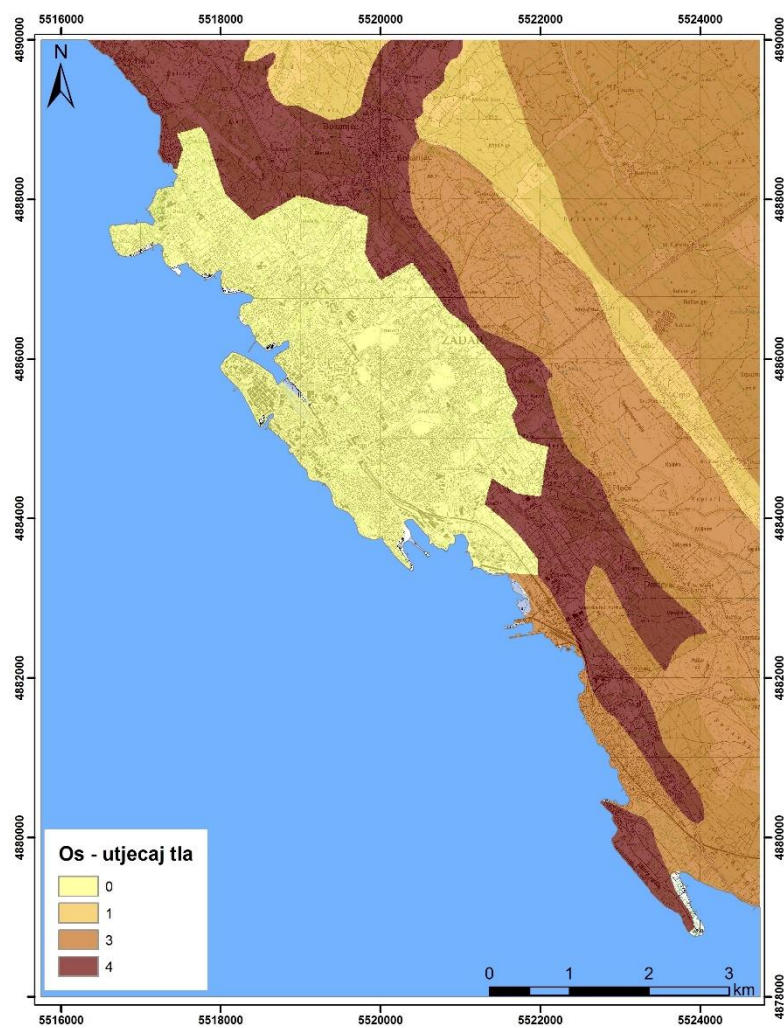
COP metoda nastala je u sklopu projekta COST 620 i u potpunosti je prilagođena smjernicama Europskog pristupa za procjenu ranjivosti vodonosnika. Metodologija je detaljno opisana u drugom poglavlju te je u nastavku prikazana njezina primjenjena na širem području grada Zadra.

4.2.1. Procjena parametra O – utjecaj krovinskih naslaga

Prvi korak COP metode je procjena faktora O – zaštitne uloge pokrovnih naslaga. Postupak je podijeljen u šest osnovnih koraka, a u konačnici predstavlja sumu utjecaja tla (podfaktor O_s) i utjecaja stijena prema litološkim karakteristikama (podfaktor O_L).

Podfaktor O_s (Slika 4.5) procijenjen je iz podataka Hidropedološke karte Republike Hrvatske (Vidaček et al., 2004), na temelju podataka o teksturi i debljini

naslaga. Reklasificirana je karta izdvojenih klasa tala na području Zadra tako da su, prema preporukama metode, poligonima bez tla, urbaniziranom dijelu grada i skeletnoj strukturi dodijeljena je vrijednost 0, ilovači debljine 15, 25 i 40 cm vrijednost 1, ilovači debljine veće od 200 cm i glini debljine 40 cm vrijednost 3, a glini debljine 50 cm vrijednost 4. Hidropedološka karta nalazi se u mjerilu 1 : 300 000 te je vidljiva generalizacija granica poligona, što uvjetuje male pomake u preklapanju pojedinih jedinica.



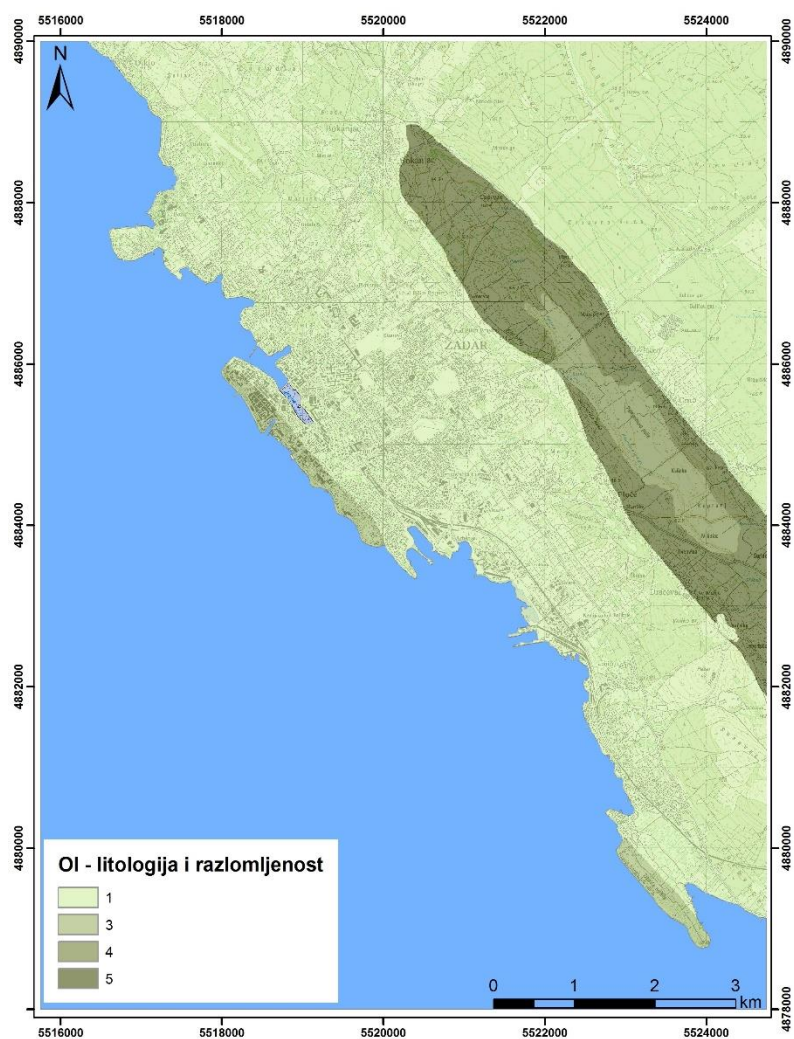
Slika 4.5. Prostorni raspored podfaktora O_s

Podfaktor O_L (Slika 4.6), koji prikazuje utjecaj litološke građe nezasićene zone na ranjivost vodonosnika, procijenjen je na osnovu hidrogeološke karte. Metoda predviđa sumiranje utjecaja pojedinih litoloških članova u vertikalnoj raspodjeli do podzemne vode. Jedinicama hidrogeološke karte dodijeljene su vrijednosti litoloških članova (Tablica 4.1) koje su zatim množene s dubinom do podzemne vode za najnepovoljniji

slučaj visokih razina podzemne vode, kad razine podzemne vode dođu na razinu 1 m od terena. Uzete su aproksimirane vrijednosti debljine nesaturirane zone. Raster je zatim reklasificiran prema indeksu slojeva i rezultirajući raster prikazuje vrijednosti podfaktora O_L .

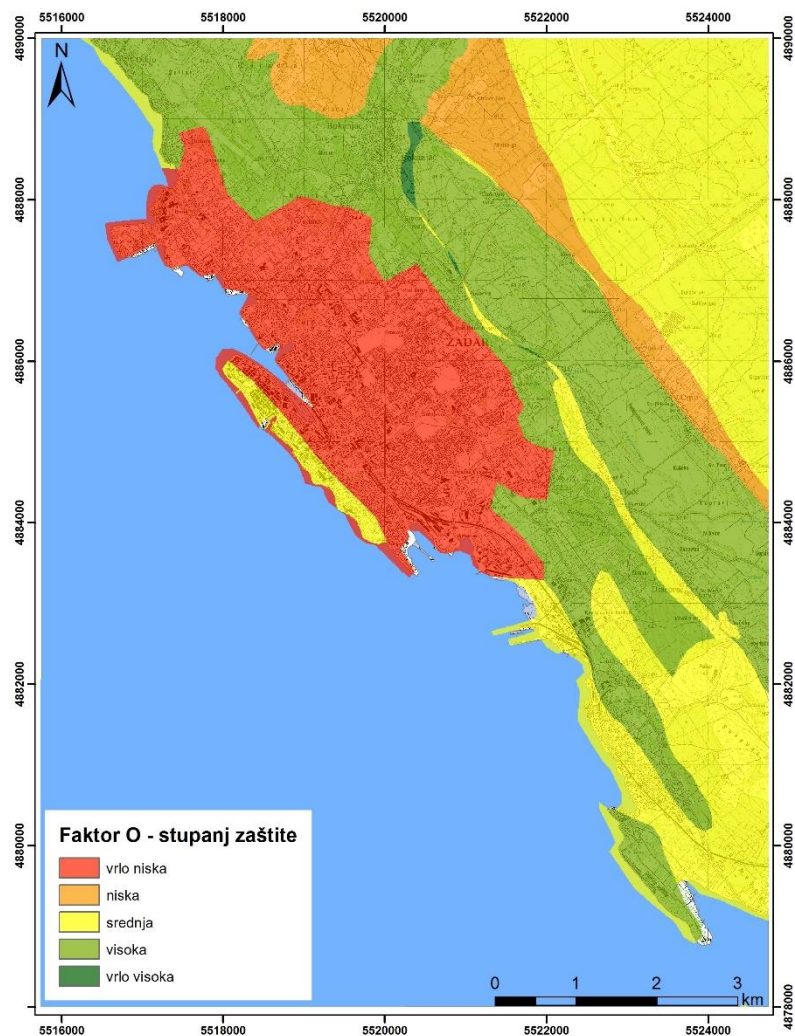
Tablica 4.1. Prikaz vrijednosti L_Y za pojedinu litološku skupinu stijena

HG	Litologija i razlomljenost	L_Y
1	umjetno nanaseni materijal (glina, mulj, pijesak, fragmenti stijena)	40
9	fliške naslage gornjeg eocena	1500
9	fliške naslage gornjeg eocena (obalna)	1200
12	kvarturna glina, mulj, pijesak	170
13	rudistni vapnenac gornje krede	1
25	kvarturna glina, mulj pijesak, fragmenti stijena	150



Slika 4.6. Prostorni raspored podfaktora O_L

Sumiranjem vrijednosti ova dva podfaktora dobiven je raster **faktora O** (Slika 4.7) koji prikazuje ukupnu zaštitnu ulogu pokrovnih naslaga svih slojeva do podzemne vode i to u slučaju kad su podzemne vode u slivu visoke, odnosno debljina nezasićene zone je minimalna.



Slika 4.7. O karta – prikaz zaštitne uloge pokrovnih naslaga

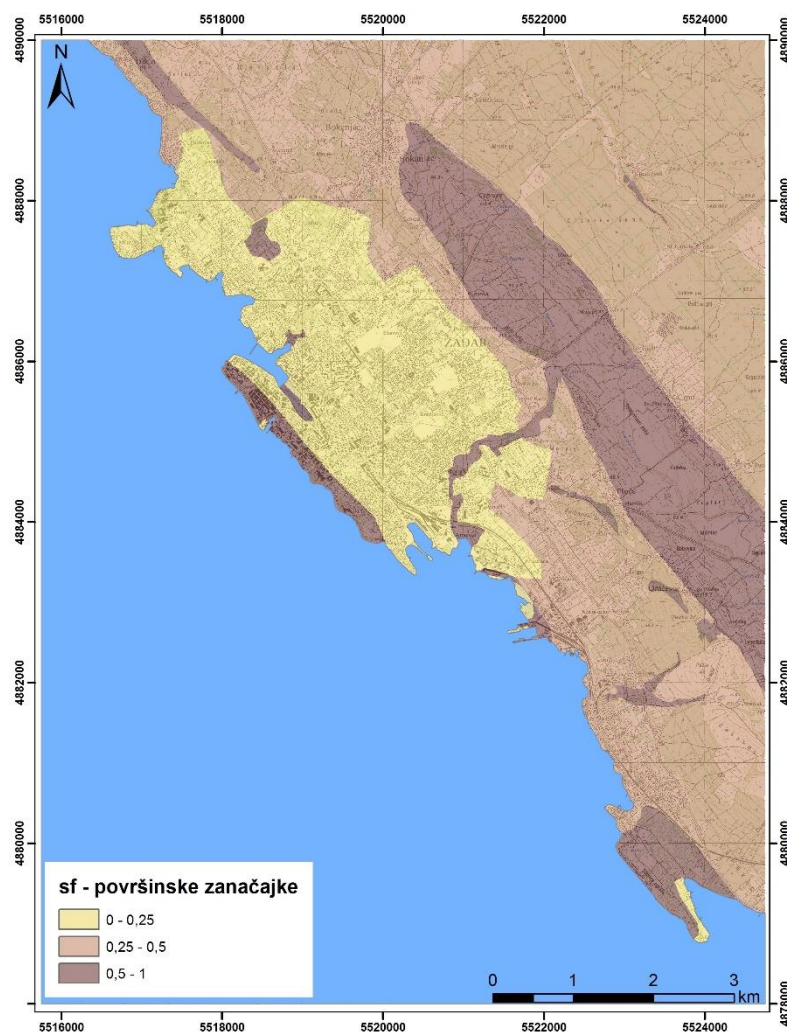
Na karti je vidljivo da je vrlo niski stupanj zaštite na urbanom području grada Zadra jer se nalazi na vapnenačkoj podlozi bez pokrovnih naslaga. Dio urbaniziranog područja koji se nalazi na fliškim naslagama gornjeg eocena je mnogo bolje zaštićen od direktne infiltracije u podzemlje pa mu je izračunom procijenjen srednji stupanj zaštite. Niski stupanj zaštite dodjeljen je području vapnenca sa pokrovnim naslagama ilovače manje od 40 cm, budući da tako tanak sloj tla na dobro propusnim vapnencima još uvijek ne može pružiti dovoljnu zaštitu. Srednji stupanj zaštite također je na vapnenačkom području sa pokrovnim naslagama gline do 40 cm ili pokrovnim naslagama ilovače više od 200 cm. Visoki stupanj zaštite dodjeljen je vapnenačkim područjima sa pokrovnim

naslagama gline debljine veće od 50 cm, području koji je građen od kvartarnih glina, mulja, pijeska, te područjima građenim od fliških naslaga gornjeg eocena.

4.2.2. Procjena parametra C – koncentracija toka

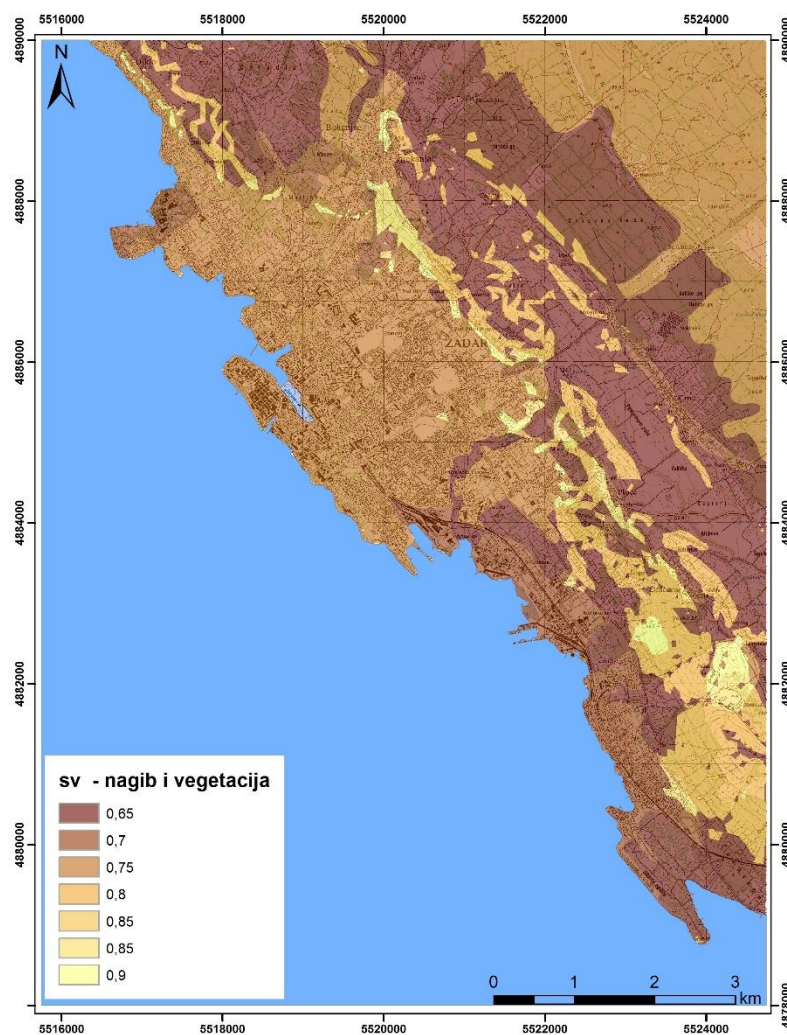
Slijedeći korak analize ranjivosti je procjena faktora C – faktor koncentracije toka. On je važan zbog toga jer izdvaja dijelove sliva na kojima postoje uvjeti da se formiraju površinski tokovi koji koncentrirano poniru i time zaobilaze zaštitu omogućenu pokrovnim naslagama. Prema postupku metode, važno je najprije izdvojiti dva osnovna područja sliva: onaj na kojem se prihranjivanje vodonosnika odvija kroz ponore (scenarij 1) i ostatak sliva (scenarij 2). Analiza za slučaj koncentriranog prihranjivanja vodonosnika kroz ponore (scenarij 1) nije izrađena jer u području istraživanja nije bilo takvog slučaja, tj. nema izravne infiltracije kroz ponorne zone. Za istraživano područje značajno je difuzno prihranjivanje vodonosnika (scenarij 2) što znači da je bilo potrebno odrediti dva podfaktora: s_f – koji predstavlja značajke područja kao kombinaciju razvoja epikrške zone i propusnosti pokrovnih naslaga; te sv - utjecaj nagiba i vegetacije.

Podfaktor s_f (Slika 4.8) dobiven je preklapanjem karte tla i hidrogeoloških jedinica (čija propusna funkcija se dovodi u vezu sa stupnjem okršavanja). Što je vrijednost podfaktora s_f bliža broju 1, područje je manje ranjivo, tj. karakteristika koja se vrednuje je pogodnija za podzemne vode. Prema uputi metode, urbano područje grada Zadra najnepovoljniji je slučaj jer je dio koji u podlozi ima dobropropusne vapnence, a nema nikakav pokrov tla, stoga mu je dodijeljena vrijednost 0,25. Ostatku područja građenom od vapnenačkih stijena dodijeljen je raspon vrijednosti od 0,25 – 0,5, ovisno o debljini pokrova tla koji se nalazi iznad, dok se najpovoljniji slučaj procijenjen za deblje naslage glina i fliša te se vrijednosti podfaktora s_f nalaze u rasponu od 0,5 do 1.



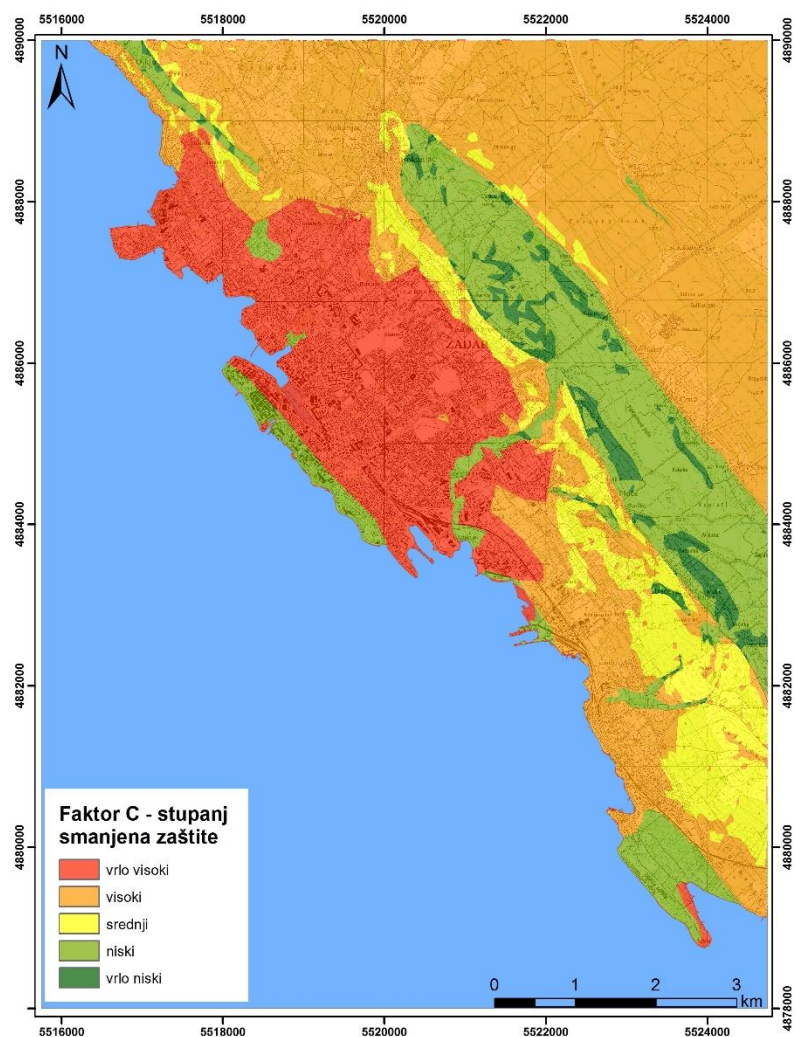
Slika 4.8. Prostorni raspored podfaktora sf

Podfaktor sv (Slika 4.9) isčitan je iz karte utjecaja nagiba terena i vegetacije. Karta nagiba terena reklasificirana je u tri zone: nagib $< 8\%$, nagib između 8 i 31% , te nagib $> 31\%$ (zone iznad 76% nagiba nema; najveća vrijednost iznosi $34,44\%$), a karta pokrova reklasificirana je u tri osnovne kategorije – mnogo vegetacije, malo vegetacije ili nema vegetacije; vrijednost 0 dodijeljena je obali. Prostornim preklapanjem tih dviju karata i vrednovanjem u skladu s preporukama metode dobiven je utjecaj nagiba i vegetacije, podfaktor sv, gdje su najranjiviji dijelovi sliva niži dijelovi s vegetacijom jer oni skupljaju sve dotoke s površine i provode ih do vodonosnika.



Slika 4.9. Prostorni raspored podfaktora sv

C faktor (*Slika 4.10*) za područje s difuznim prihranjivanjem dobiva se kao umnožak ova dva podfaktora. Jako je dobro kombinirati podfaktor sv, za slučaj infiltracije, s podfaktorom sf jer se ne može pretpostaviti da je difuznim prihranjivanjem vodonosnik zaštićen pokrovnim naslagama, budući da se kod razvijene epikrške zone u podzemlju pokrovne naslage mogu potpuno zaobići i tokovi se mogu koncentrirati jednako kao i prihranjivanjem kroz ponore.

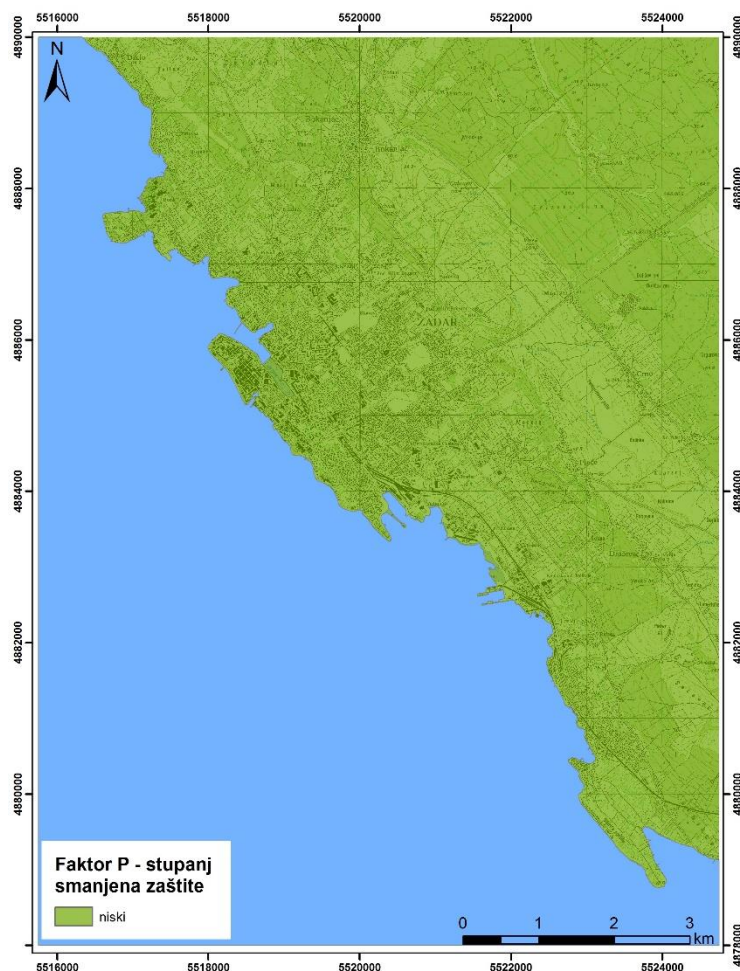


Slika 4.10. C karta – smanjenje zaštite vodonosnika uslijed uvjeta tečenja

Vrlo visoki stupanj smanjenje zaštite nalazi se na urbanom području grada Zadra zato što na tom području nema vegetacije koja bi zaštitila područje, a i nagib terena je vrlo blagi. Visoki stupanj smanjena zaštite dobiven je na vapnenačkom području sa malim nagibima i bez vegetacije. Vapnenačko područje sa pokrovnim naslagama glina i ilovače, nagibom od 5 do 15 % i mnogo vegetacije klasificirano je kao područje sa srednjim stupnjem zaštite. Niski stupanj smanjena zaštite pripalo je području velikog nagiba, na vapnenačkom području sa glinovitim površinskim naslagama od 40 cm i području sa glinovitim i fliškim naslagama te mnogo vegetacije. Samo područje koje se nalazi na naslagama gline sa najvišim nagibom i najviše razvijenom vegetacijom klasificirano je kao vrlo niski stupanj smanjena zaštite.

4.2.3. Procjena parametra P – oborine

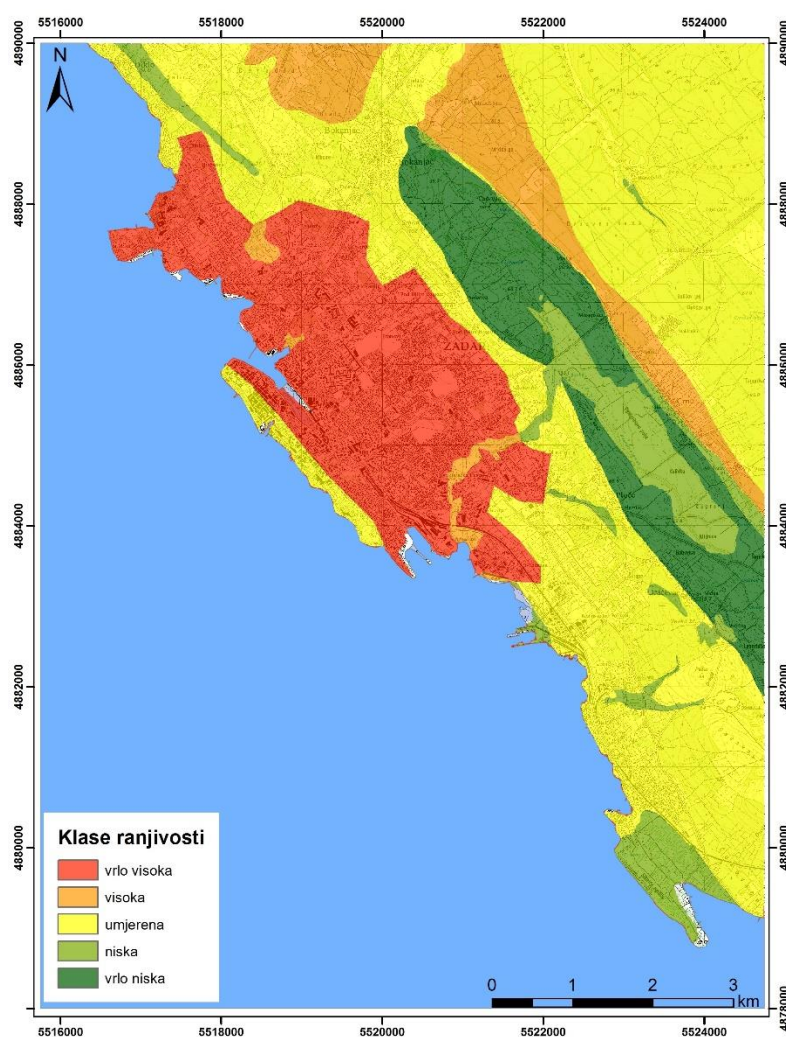
Treći i posljednji faktor COP metode je P – faktor oborina. Prema konceptu Europskog pristupa, u procjeni ranjivosti P faktor predstavlja vanjski stres na sustav koji se promatra. Vrlo je važan jer predstavlja glavni izvor prihranjivanja podzemnih voda, medij koji prenosi onečišćenje s površine do vodnog lica, a direktno ili indirektno utječe na sve ostale parametre procjene. Prema uputama COP metode dva su osnovna obilježja oborina koja utječu na ranjivost vodonosnika – količina i intenzitet. Prema shemi koja je predložena (*Slika 2.5*), najprije je napravljena prostorna raspodjela količina oborina za vlažnu godinu i na temelju toga dodijeljena je vrijednost **podfaktora P_Q** koja iznosi 0,2 (za 800 - 1200 mm/god oborina). Nakon toga pomoću date formule izračunat je intenzitet oborina koji je prikazan **podfaktorom P_I** ; intenzitet oborina iznosi 8,04 što je manje od 10 pa je vrijednosti P_I 0,6). Ukupni **P faktor** (*Slika 4.11*) dobiven je kao zbroj ova dva podfaktora i iznosi 0,8 za cijelo područje istraživanja, što nam ukazuje da je stupanj smanjenje zaštite niski.



Slika 4.11. P karta – smanjenje zaštite vodonosnika pod utjecajem oborina

4.2.4. Analiza ranjivosti pomoću COP metode

Nakon definiranja svih parametara COP metode potrebno je, prema uputama metode, pomnožiti rastere s vrijednostima faktora C, O i P. Kao rezultat dobiven je raster s vrijednostima COP indeksa (*Slika 4.12*). Prema uputama metode, COP indeks se dijeli u pet kategorija (vrlo visoka, visoka, umjerena, niska ili vrlo niska) i takav prikaz predstavlja kartu prirodne ranjivosti dobivene pomoću COP metode.



Slika 4.12. Karta prirodne ranjivosti vodonosnika dobivena COP metodom

Reklaficiranjem COP karte na prikazanih 5 klasa te konventiranjem rastera u poligone i generaliziranjem tih poligona po grid_code-u dobivene su površine svake klase. Krajnji rezultati izračuna površine zahvaćene pojedinom kategorijom ranjivosti nakon provedene analize prikazani su u *tablici 4.2*.

Tablica 4.2. Prikaz klasa ranjivosti COP metode s pripadajućom površinom područja istraživanja

COP indeks	Ranjivost	Površina (km ²)	Udio površine (%)
0 – 0,5	Vrlo visoka	11,4	21,55
0,5 – 1	Visoka	4,9	9,26
1 – 2	Umjerena	26,4	49,91
2 – 4	Niska	4,3	8,13
4 – 6,48	Vrlo niska	5,9	11,15
Ukupno:		52,9	100

Rezultati provedene analize prirodne ranjivosti pomoću COP metode ukazuje da je ranjivost vrlo visoka na samom urbanom području grada Zadra; području koje je izgrađeno od dobro propusnih vapnenaca bez dodatnih pokrovnih naslaga, bez vegetacije i sa malim nagibom terena. Visoka ranjivost podzemnih voda je na području izgrađenom od vapnenaca ali na kojima postoje pokrovne naslage ilovače debljine manje od 40 cm, bez značajne vegetacije i s malim nagibom terena. Umjerena ranjivost terena dobiven je na području vapnenca sa pokrovnim naslagama gline i ilovače značajnije debljine, s malim nagibom terena i bez značajne vegetacije te na malom području grada koji se nalazi na fliškim naslagama. Područja koja se nalaze na naslagama gline i fliša, zatim područja s niskim nagibom terena i visokim udjelom vegetacije te fliška područja značajnog nagiba s puno vegetacije klasificirana su kao područja sa vrlo niskom ranjivosti budući da ta svojstva pružaju dovoljnu zaštitu podzemnoj vodi u slučaju pojave onečišćenja koja bi joj potencijalno zaprijetila. Odnos površina, prikazan u tablici 4.2. ukazuje da je gotovo polovica istraživanog područja umjereno ranjiva, a čak više od 20 % površine vrlo ranjivo na onečišćenje podzemnih voda. To je podatak koji ukazuje da je šire područje grada Zadra vrlo osjetljivo na antropogene utjecaje i kakvoća podzemne vode može vrlo lako biti ugrožena. Budući da stanovnici ovog područja i po pitanju količine moraju biti dosta oprezni s gospodarenjem vodnim resursima, jer vode nema u izobilju, vrlo je važno da se sve mjere zaštite propišu i da ih se strogo pridržava. Prirodna voda zadovoljavajuće kakvoće je nemjerljivo bogatstvo, potrebno je očuvati ju s mnogo pažnje, jer će biti potrebno mnogo više vremena, novaca i truda jednom narušenu kakvoću vratiti.

5. Zaključak

Ovim diplomskim radom procijenjena je prirodna ranjivost podzemnih voda pomoću COP metode. Procjena ranjivosti vodonosnika nastoji proučavanjem prirodnih karakteristika svih dijelova vodonosne sredine (površinske naslage, nesaturirana zona i saturirani dio) izdvojiti one dijelove koji su ranjiviji na negativne antropogene utjecaje. COP metodom se ranjivost vodonosnika procjenjuje uzimajući u obzir tri parametra: krovinke naslage (O), koncentracija toka (C) i režim oborina (P). Svaki parametar određuje se prema točno određenim uputama pomoću podataka iz podloga koje se dobiju u ranijim fazama istraživanja: topografski podaci, hidrogeološki podaci, podaci o naslagama tla, vegetaciji i oborinama. Parametar O procjenjuje zaštitnu ulogu pokrovnih naslaga, tj u kojoj mjeri one imaju mogućnost zadržati onečišćenje prije nego dođe do vodnog lica. Faktori C i P uslijed nekih površinskih uvjeta smanjuju taj stupanj zaštite. Konačni indeks COP dobiva se množenjem ta tri faktora, a krajnji rezultat cjelokupne analize je karta ranjivosti koja različitim bojama prikazuje razinu do koje je podzemna voda ranjiva na potencijalno onečišćenje s površine terena.

Poštivanjem pravila određivanja parametara COP metode za istraživanje šireg područja grada Zadra te njihovim množenjem dobiven je rezultat koji ukazuje na vrlo visoku ranjivost na urbanom području; području koje se nalazi na vapnencima bez dodatnih pokrovnih naslaga, bez vegetacije i sa malim nagibom terena. Visoka ranjivost je na vapnenačkom području sa pokrovnim naslagama ilovače manje od 40 cm, bez značajne vegetacije i sa malim nagibom terena. Umjerena ranjivost terena dobivena je na području vapnenca sa pokrovnim naslagama gline i ilovače, sa malim nagibom terena i bez značajne vegetacije te na malom području grada koji se nalazi na fliškim naslagama. Područja građena od glinovitih i fliških naslaga sa niskim nagibom i visokim udjelom vegetacije te fliška područja značajnog nagiba sa puno vegetacije klasificirana su kao područja sa vrlo niskom ranjivosti.

Procjena ranjivosti podzemnih voda samo je jedan dio kompleksnih hidrogeoloških istraživanja koje pomažu u pravilnom upravljanju vodnim resursima, ali je jako dobar pokazatelj problematičnih područja. Zaštita podzemnih voda šireg područja grada Zadra trebala bi postati prioritetna aktivnost stanovništva ovog dijela Republike Hrvatske.

Racionalno korištenje pitke vode, posebno u ljetnom periodu te adekvatno zbrinjavanje otpadnih voda iz kućanstava i industrije prvi su koraci ka tome.

6. Literatura

- Agencija za zaštitu okoliša, AZO (2008):** CORINE Land Cover Hrvatska (baza podataka) i podloge
- Biondić, R., Meaški, H., Biondić, B. & Loborec, J. (2014):** Vulnerability mapping of Novljanska Žrnovnica karst spring catchment area in Croatia. Final report. Arhiv Geotehničkog fakulteta
- Civita M. & De Maio M. (2000):** SINTACS R5, a new parametric system for the assessment and automating mapping of groundwater vulnerability to contamination – Pitagora Editor (Bologna), 226 str.
- Črnjar, M., & Črnjar, K. (2004).** Suvremeno promišljanje o međusobnim odnosima znanja i okoliša. *Ekonomski pregled*, 55(7-8), 580-594.
- Daly, D., Dassargues, A., Drew, D., Dunne, S., Goldscheider, N., Neale, S., Popescu, I.C. & Zwahlen, F. (2002):** Main concepts of the European Approach for (karst) groundwater vulnerability assessment and mapping. *Hydrogeology Journal* 10 (2), 340 – 345.
- DoELG/EPA/GSI (1999):** Groundwater protection schemes. Department of Environment and Local Government, Environmental Protection Agency and Geological Survey of Ireland, 24 str, Dublin.
- Foster, S.S.D. (1987):** Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy. Vulnerability of soil and groundwater to pollutants ed. Proceedings and information committee for hydrological research, TNO, pp. 69-86.
- Fritz, F. (1976):** Hidrogeološka studija Ravni Kotari – Bukovica. Professional study, Institute of Geology –Zagreb, No. 112/76. (“Hydrogeological study of Ravni Kotari-Bukovica”)
- Fritz., F., Pavičić, A., Renić, A. (1994):** Crpilišta zadarskog vodovoda – hidrogeološki istražni radovi za prijedlog zona sanitarne zaštite. Professional study, Institute of Geology – Zagreb, No. 70/94. (“Water supply stations of Zadar town – hydrogeology study for sanitary protection zones”)
- Gogu, R.C. & Dassargues, A. (2000):** Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods. *Environmental Geology* 39 (6), 549 – 559.

Kapelj, J. (2002): Strukturni sklop šireg područja promine u sjevernoj Dalmaciji i odraz na hidrogeološke odnose. Dissertation, University of Zagreb, Faculty of Natural Sciences, 108 p. (The regional structural framework of the Northern Dalmatia and its effect on hydrogeologic relationships)

Kapelj, S., Kapelj, J., Biondić, R., Singer, D. (2003): 1. Annual hydrogeological report for WP2 “ The level and hydrogeological fate of some POPs in several Croatian, Bosnian and Herzegovina and Kosovo areas as a consequence of war damages” - pilot area Zadar town, Institute of Geology – Zagreb

Kapelj, S., Kapelj, J., Dogančić, D. & Loborec, J. (2012): Studija upravljanja vodama sliva Jadra i Žrnovnice – Četvrta faza studijsko istraživačkih radova EVV:21/2008. Hrvatske vode, Split.

Loborec J. (2013.): Procjena rizika od onečišćenja podzemnih voda u kršu na području sliva izvora Jadra i Žrnovnice, Zagreb

Majcen, Ž. & B. Korolija (1970): Osnovna geološka karta M 1:100 000, list Zadar, Professional report, Institute of Geology – Zagreb. (“Basic geological map of Croatia, scale 1: 100 000, sheet Zadar”)

Majcen, Ž. & B. Korolija (1973): Tumač osnovne geološke karte M 1:100 000, list Zadar, Professional report, Institute of Geology – Zagreb. (“Guidebook of the Basic geological map of Croatia, scale 1: 100 000, sheet Zadar”)

Pavičić, A., Kapelj, S., Prelogović, I., D., Ivičić (2000): Crpilišta zadarskog vodovoda - Vodocrpilište Muškovci i Berberov Buk. Hidrogeološki istražni radovi za prijedlog zona sanitarne zaštite. Professional study, Institute of Geology – Zagreb, No. 58/00. (“Water supply stations of the Zadar town – Water supply station Muškovci and Berberov Buk, hydrogeology study for sanitary protection zones”)

Pucar, B., Dmitrović, Z., Šangulin, J., Matek Šarić, M., Eleršek, N., Babin, A. (2006): Program praćenja stanja okoliša i onečišćenja obalnog i morskog područja otpadnim vodama na području Zadarske županije, Zavod za javno zdravstvo Zadar, Zadar

Vidaček, Ž., Bogunović, M., Husnjak, S., Sraka, M., Bensa, A. & Petošić, D. (2004): Tumač hidropedološke karte Republike Hrvatske, M 1:300 000. Zavod za pedologiju, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 33 str.

Vías, J. M., Andreo, B., Perles, M.J., Carrasco, F., Vadillo, I. & Jiménez, P. (2002): Preliminary proposal of a method for vulnerability mapping i carbonate

aquifers. In: Karst and Environment (F. Carrasco, J.J. Duran and B. Andreo, Eds.), 75-83.

Vías, J.M., Andreo, B., Perles, M.J., Carrasco, F., Vadillo, I. & Jiménez, P. (2006): Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method. Hydrogeology Journal, 14, 912-925.

Vrba J. & Zaporozec A. (eds.) (1994): Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability, International Contribution to Hydrogeology (IAH), 131 p., Hannover.

ZADRA – Razvojna agencija zadarske županije (2011): Županijska razvojna strategija Zadarske županije (ŽRSZŽ). On line dostupno na: <http://www.investinzadar-croatia.com/media/pdf/ZUPANIJSKA%20RAZVOJNA%20STRATEGIJA%20ZADARSKE%20ZUPANIJE%202011.-2013..pdf> (03.07.2017.)

ZADRA – Razvojna agencija zadarske županije (2013): Strategija razvoja grada Zadra. On line dostupno na: <http://www.grad-zadar.hr/repos/doc/Strategija%20razvoja%20grada%20Zadra.pdf> (03.07.2017.)

Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M., Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., ... & Likso, T. (2008):

Zaninović K., Gajić - Čapka, M., Perčec Tadić, M. Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., ... & Likso, T., (2008): Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961–1990, 1971–2000., Zagreb, Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), pp 200.

Zavod za javno zdravstvo zadarske županije – ZZJZZŽ (2006): Program praćenja stanja okoliša i onečišćenja obalnog i morskog područja otpadnim vodama na području Zadarske županije. On line dostupno na: https://www.zadarska-zupanija.hr/images/dokumenti/5_Program_pracenja_stanja_okolisa_i_oneciscenja_otpadnim_vodama_Zz.pdf (03.07.2017.)

Zwahlen, F. (2004) (ed.): Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. European Commission, Directorate – General for Research, European research area: structural aspects – COST 620, 279 p.

7. Popis slika

Slika 2.1. Prikaz određivanja O faktora (prema: Vias et al, 2006)

Slika 2.2. Prikaz određivanja C faktora za scenarij 1 (prema: Vias et al., 2006)

Slika 2.3. Prikaz određivanja C faktora za scenarij 2 (prema: Vias et al., 2006)

Slika 2.4. Prikaz klasifikacije C faktora (prema: Vias et al., 2006)

Slika 2.5. Prikaz određivanja P faktora (prema: Vias et al., 2006)

Slika 2.6. Prikaz određivanja COP indeksa i klasa ranjivosti (prema: Vias et al., 2006)

Slika 3.1. Položaj područja istraživanja na karti Republike Hrvatske

Slika 3.2. Slika 3.2. Geoprometni položaj grada Zadra (ZADRA, 2013)

Slika 3.3. Prikaz glavnih slivova

Slika 4.1. Topografska karta istraživanog područja

Slika 4.2. Prikaz DEM rastera i karte nagiba terena

Slika 4.3. Karta litoloških jedinica

Slika 4.4. Karta oborina

Slika 4.5. Prostorni raspored podfaktora O_s

Slika 4.6. Prostorni raspored podfaktora O_L

Slika 4.7. O karta – prikaz zaštitne uloge pokrovnih naslaga

Slika 4.8. Prostorni raspored podfaktora s_f

Slika 4.9. Prostorni raspored podfaktora s_v

Slika 4.10. C karta – smanjenje zaštite vodonosnika uslijed uvjeta tečenja

Slika 4.11. P karta – smanjenje zaštite vodonosnika pod utjecajem oborina

Slika 4.12. Karta prirodne ranjivosti vodonosnika dobivena COP metodom

8. Popis tablica

Tablica 4.1. Prikaz vrijednosti L_Y za pojedinu litološku skupinu stijena

Tablica 4.2. Prikaz klasa ranjivosti COP metode s pripadajućom površinom sliva